

# Hierarquização de medidas de conservação de água em edificações residenciais com o auxílio da análise multicritério

*Establishing a hierarchy of water conservation actions in residential buildings using multicriteria analysis*

Daniel Costa dos Santos  
Marllon Boamorte Lobato  
Neida Maria Patias Volpi  
Luciana Zabrocki Borges

## Resumo

Entre as possíveis ações de conservação de água em um edifício, pode-se destacar o uso racional de água, o qual inclui a utilização de dispositivos economizadores, a medição individualizada, a conscientização dos usuários e a utilização de fontes alternativas de água como o uso de águas de chuva e águas cinzas. Este trabalho apresenta um estudo de caso desenvolvido em um edifício padrão em Curitiba, Paraná, Brasil. Inicialmente, discute-se a avaliação da aplicabilidade das ações de conservação da água. Depois desta avaliação, foram estabelecidas prioridades para as ações de conservação de água sob o ponto de vista de benefícios e riscos da aplicação das ações de conservação para promoção da sustentabilidade do recurso água na edificação. O estabelecimento desta prioridade é muito importante como uma ferramenta auxiliar para o planejamento de ações de conservação de água em edifícios. O objetivo no final deste trabalho é apresentar uma aplicação de um Sistema de Apoio de Decisão (DSS) para estabelecer prioridades de ações de conservação de água em um edifício no intuito de se economizar água. O DSS utilizado foi a Análise Multicritério, especificamente o método ELECTRE III, que hierarquizou as ações de conservação da água.

**Palavras-chave:** Análise Multicritério, edificações residenciais, ELECTRE III, habitat humano, sistemas de apoio à decisão.

## Abstract

Among possible building water conservation measures, the rational use of water must be pointed out, including the installation of saving devices, adoption of individual measurement, increasing user awareness, and the use of alternative water sources such as rain water and greywater reuse. This article presents a case study carried out in a standard building in Curitiba, Paraná, Brazil. Initially an evaluation on the applicability of those measures was undertaken. Then, some priorities were established, considering their benefits and risks in terms of promoting the sustainability of water resources in buildings. The establishment of such priorities is very important as a supporting tool for planning building water conservation actions. The aim of this article is to present an application of a Decision Support System (DSS) for establishing priorities for building water conservation actions, aiming to save water. The DSS used was Multicriteria Analysis, specifically the ELECTRE III Method, which established a hierarchy of water conservation actions.

**Keywords:** Multicriteria Analysis, residential buildings, ELECTRE III, human habitat, decision support systems.

Daniel Costa dos Santos  
Departamento de Hidráulica e  
Saneamento  
Universidade Federal do Paraná  
Bairro Jd. das Américas  
Curitiba - PR - Brasil  
Caixa-Postal: 19011  
CEP 81531990  
Tel.: (41) 361 3142  
Fax: (41) 361 3143  
E-mail: dcsantos.dhs@ufpr.br

Marllon Boamorte Lobato  
Departamento de Engenharia  
Ambiental  
Pontifícia Universidade Católica do  
Paraná  
Rua Imaculada Conceição, 1155,  
Prado Velho,  
Curitiba - PR Brasil  
E-mail: marllon.lobato@pucpr.br

Neida Maria Patias Volpi  
Programa de Métodos Numéricos  
em Engenharia  
Universidade Federal do Paraná  
Centro Politécnico, Edifício da  
Administração, 3 andar  
Bairro Jd das Américas  
Curitiba - PR - Brasil  
Caixa-Postal: 019081  
CEP 81531990  
Tel.: (41) 361 3399  
Fax: (41) 26 60040  
E-mail: nmpv@mat.ufpr.br

Luciana Zabrocki Borges  
Programa de Engenharia dos  
Recursos Hídricos e Ambiental  
Universidade Federal do Paraná

Recebido em 16/11/04  
Aceito em 22/11/05

## Introdução

A observação atenta do processo histórico demonstra inequivocamente a crescente preocupação, em nível mundial, com a escassez crescente dos recursos naturais, em especial a água. Tem havido uma conscientização constante e difusa sobre o fato que a água é um recurso finito e que sua disponibilidade, qualitativa e quantitativa, está sujeita às condições do meio antrópico. Tais condições dizem respeito às atitudes humanas em relação aos corpos hídricos as quais, inevitavelmente, provocam sua degradação e conseqüentemente acabam por comprometer o atendimento das demandas para os consumos urbano, industrial e agrícola.

Diante disso, inúmeros encontros internacionais têm tratado da questão do direito ao acesso da água potável e da sustentabilidade dos recursos hídricos. Uma das primeiras conferências a abordar esse assunto foi a Conferência de Mar Del Plata em 1977, quando foi abordado sobre o acesso à água potável em quantidade e qualidade para suprir as necessidades básicas humanas. Em 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro (IPARDES, 1992), é ratificado o conceito de Desenvolvimento Sustentável, que, em essência, refere-se à exploração dos recursos de forma a atender as gerações atuais e futuras.

Como fruto dessa conferência tem-se, entre outros, a Agenda 21, documento oficial que orienta ações, objetivos e meios de implantação de programas que compatibilizem a integração do desenvolvimento econômico à proteção do meio ambiente com o intuito de se alcançar o que preconiza o conceito de Desenvolvimento Sustentável. Entre inúmeros temas, a Agenda 21 propõe, em seu capítulo 18, ações a serem desenvolvidas para o uso sustentável da água (IPARDES, 1992).

As formas de promover o uso sustentável da água e, em decorrência, conservá-la nos aspectos quantitativos e qualitativos, podem ser por meio de ações de economia, as quais envolvem o uso racional da água e o uso de fontes alternativas, e por meio das ações de preservação dos mananciais hídricos. Cumpre salientar que a aplicação de ações de conservação podem reverter a economia de água em nível de bacia hidrográfica, dos sistemas públicos de abastecimento e dos sistemas prediais, enquanto a proteção dos mananciais implica a adoção de medidas viáveis de tratamento de esgoto, entre outras.

Objetiva este trabalho apresentar uma aplicação prática do sistema de apoio de decisão, em especial a Análise Multicritério, que integra o Programa de

Gestão do Uso da Água em Edificações. O intuito dessa aplicação é estabelecer uma hierarquia de ações de conservação de água a serem aplicadas em edificações residenciais. Essa hierarquia possibilita o planejamento e gestão de tais ações para, enfim, promover estrategicamente a conservação da água na edificação e em seu entorno.

## Conservação da água

Conservação da água é aqui admitida como um conjunto de ações que propiciam a economia e preservação de água, seja nos mananciais, seja no sistema público de abastecimento de água, seja ainda nas edificações. As ações de economia podem ser de uso racional de água e de utilização de fontes alternativas. As ações de uso racional são basicamente ações de combate ao desperdício quantitativo, enquanto a utilização de fontes alternativas consiste em utilizar outras fontes que não aquelas normalmente utilizadas como mananciais, ou seja, águas superficiais e subterrâneas. Destacam-se, portanto, a água de reúso e a água da chuva. As ações de preservação englobam aquelas de proteção à qualidade das águas no manancial, o que inclui tratamento de resíduos líquidos, entre outras.

Com relação à abrangência das ações de conservação da água, são enfocados três níveis:

- (a) nível “macro”, cujas ações são pertinentes a grandes sistemas ambientais e bacias hidrográficas;
- (b) nível “meso”, cujas ações são respectivas aos sistemas públicos de abastecimento de água e coleta de esgoto; e
- (c) nível “micro”, cujas ações se concentram sobre as edificações.

Tais níveis encontram-se e relacionam-se no habitat humano, pois, ao se atuar para a conservação da água nas edificações, por exemplo, pode-se diminuir a demanda de água necessária ao abastecimento e, com isso, aumentar o alcance temporal do sistema de abastecimento de água. Além disso, por conseqüência, reduzem-se volumes de esgoto gerados, fato importante para a minimização dos impactos ambientais.

## Conservação da água no habitat humano

No âmbito público do habitat humano, ações como a redução de perdas físicas de água nos

sistemas públicos de abastecimento, redução de volumes de água consumidos na operação das estações de tratamento de água e economia de água em função de medidas pertinentes de reúso, entre outras ações, têm sido desenvolvidas em nível nacional e internacional com significativo êxito. Especificamente quanto ao reúso de água, em síntese poder-se-ia basicamente conceituar reúso como “reúso de água”. Apenas isso. O termo reúso de água servida não parece adequado, pois, em realidade, neste caso, consta do uso da água servida. A água servida, em sua primeira aplicação, é usada. O reúso em si é da água cujo primeiro uso ocorreu enquanto era potável. Já seu segundo uso, enquanto foi servida.

Todavia, conforme Metcalf & Eddy (1991), reúso de esgoto consta do uso do esgoto tratado. Segundo o autor, o reúso pode ser direto ou indireto, potável ou não potável, planejado ou não planejado.

O reúso direto consta de direcionar o esgoto tratado diretamente ao seu local de uso, enquanto o indireto requer a passagem do esgoto tratado por um caminho intermediário, que no caso é o corpo d'água natural. O reúso potável é aquele onde o efluente tratado atende aos requisitos de potabilidade, podendo ser utilizado para tanto. Já para o reúso não potável tais requisitos não são atendidos. O reúso planejado admite um planejamento em que há monitoramento constante do efluente tratado que está sendo distribuído. Caso haja reúso de forma acidental, caracteriza-se o reúso não planejado. Outra classificação cabível seria o reúso de micro, meso ou macroabrangência, conforme os níveis de ações de conservação da água já citados.

Outro aspecto importante é que o reúso da água compreende os objetivos básicos da conservação da água, quais sejam, a economia e a preservação, conforme já discorrido. Isso porque reutilizar água para fins menos nobres é uma forma de economizar água no manancial, enquanto, para a preservação, o fato positivo do reúso da água é a diminuição dos volumes de esgoto despejados nos mananciais hídricos (FRIEDLER, 2001).

Especificamente quanto às medidas de economia de água por meio do reúso, elas são caracterizadas em função da natureza da demanda, a qual pode ser a agricultura, a indústria, o meio urbano, entre outros possíveis usuários específicos. A agricultura, por exemplo, é responsável hoje por aproximadamente 70% da água consumida no mundo. Ou seja, atendidos os requisitos de reúso, trata-se de uma grande usuária. A aquicultura, na atualidade vista como um apazível meio de geração de renda de forma sustentada, também surge como considerável usuária. O uso doméstico, responsável por aproximadamente 8% do consumo de água do total mundial, também aparece significativamente neste contexto, pois apresenta a singular possibilidade de reúso de microabrangência, que pode se viabilizar havendo o incentivo do poder público. O mesmo vale para o consumo industrial, que

consome algo na ordem de 22% do total consumido no planeta (MACÊDO, 2001).

## A conservação da água nas edificações

Restringindo-se ao cenário das habitações, é oportuno destacar que, com relação à tipologia das ações de economia, elas podem ser de uso racional de água e de utilização de fontes alternativas. As ações de uso racional são basicamente ações de combate ao desperdício quantitativo, como a priorização do uso de aparelhos sanitários economizadores de água, o incentivo da adoção da medição individualizada, a conscientização do usuário para não desperdiçar água no ato do seu uso, a detecção e controle de perdas de água no sistema predial de água fria, o estabelecimento de tarifas inibidoras do desperdício, entre outras.

Já a utilização de fontes alternativas consta de utilizar fontes alternativas àquelas normalmente disponibilizadas às habitações. Destacam-se a água cinza, a água da chuva, a água subterrânea, a água mineral envasada e a água distribuída em caminhões pipa. Convém salientar que a consideração dessas fontes como alternativas partiu da premissa que a fonte principal refere-se ao sistema público de abastecimento de água.

Especificamente quanto às águas cinza e pluviais, cabe destacar os resultados de caracterização física, química e microbiológica obtidos nas pesquisas realizadas no projeto de pesquisa Programa de Gestão do Uso da Água em Edificações (SANTOS, 2004). A caracterização da água cinza, realizada com base em material coletado em 26 edificações residenciais em Curitiba, é apresentada na Tabela 1. Cabe salientar que esta pesquisa redundou em uma dissertação denominada “Caracterização das Águas Cinzas em Edificações” (ZABROCKI, 2003).

É importante destacar, na observação da Tabela 1, que tal caracterização apresenta, em seus valores médios, consideráveis concentrações de matéria orgânica (DBO), de coliformes totais e de coliformes fecais. Portanto, entende-se que a água cinza consta de uma água residuária que pode requerer significativo tratamento, dependendo do uso previsto. Por exemplo, para utilizar essa água cinza em descargas de bacias sanitárias, pelos critérios da EPA (EPA, 1992) para uso urbano, o valor máximo de DBO teria de ser 10 mg/L e não poderia haver presença de coliformes, sejam totais ou fecais. Logo, conforme características em questão, tal água cinza necessitaria de um tratamento primário e secundário para remover matéria orgânica e um tratamento terciário para a desinfecção.

A caracterização da água da chuva, desenvolvida em sete edificações residenciais, consta na Tabela 2. Deve-se observar que, para a caracterização em questão, a água da chuva foi coletada após aproximadamente dez minutos do início dela, tempo esse considerado suficiente para eliminar a “primeira água” que tem contato com a cobertura.

Novamente é importante destacar as concentrações significativas de coliformes totais e termotolerantes. A DBO não é expressiva, porém os parâmetros cor e turbidez o são. Semelhante à água cinza, dependendo do uso, a água da chuva pode requerer tratamento para ser utilizada.

Parâmetros	Concentrações		
	Mínimo	Médio	Máximo
Temperatura (°C)	21,5	24,0	27,0
Cor (Hz)	9,0	52,3	300,0
Turbidez (NTU)	1,97	37,35	189,0
pH	6,7	7,2	8,5
OD (mg/L)	2,67	4,63	5,92
Cloro Livre (mg/L)	0,0	0,0	0,8
Cloro Total (mg/L)	0,0	0,0	1,0
Fósforo Total (mg/L)	1,72	6,24	38,49
DBO (mg/L)	16,67	96,54	286,93
Colif. Total (NMP/100 mL)	5,10	$9,42 \cdot 10^5$	$1,60 \cdot 10^8$
Colif. Fecal (NMP/100 mL)	2,00	$4,00 \cdot 10^2$	$1,60 \cdot 10^7$

Fonte: ZABROCKI, 2003

Tabela 1 - Caracterização da água cinza

Parâmetros	1	2	3	4	5	6	7	Média
	Cerâmica	Amianto	Amianto	Terraço	Cerâmica	Terraço		
pH	7,22	7,16	6,54	5,79	6,54	6,63	6,62	6,64
T (°C)	19,2	18,6	17,9	17,9	18,3	18,0	17,0	18,13
Condutividade (MS/cm)	10,0	-	40,2	32,5	43,5	9,6	47,4	30,53
Cor (Hz)	-	-	50	44	196	31	< 2	80,25
Turbidez (NTU)	-	-	4,69	3,25	6,00	3,21	< 1,00	4,29
DBO (mg/L)	-	-	4,69	9,53	16,86	4,09	3,11	7,66
CT (NMP/100 mL)	-	-	$2,1 \times 10^3$	$28 \times 10^3$	$240 \times 10^3$	$3,0 \times 10$	$4,1 \times 10$	$1,73 \times 10^3$
CTML (NMP/100 mL)	-	-	$7,4 \times 10^2$	$28,0 \times 10^3$	$160,0 \times 10^3$	2,0	< 2,0	$4,21 \times 10^2$

Nota: Média Geométrica

Tabela 2 - Caracterização da água de chuva

## Programas de conservação da água

No Brasil, algumas iniciativas foram criadas pelo poder público e pela sociedade para aplicar ações de conservação da água como, por exemplo, o Programa de Uso Racional da Água (PURA), fruto da parceria entre Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Universidade de São Paulo (USP) e Instituto de

Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), o qual está voltado para os sistemas prediais hidráulicos sanitários, com o intuito de promover o uso racional da água nestes sistemas.

A concepção do PURA se deve ao fato da necessidade de se atender a três objetivos básicos, a saber:

(a) criar modelos com a intenção de se quantificar eficiência no uso de aparelhos economizadores de

água, em sistemas hidráulicos prediais, na demanda requerida por esses sistemas;

(b) proporcionar à população o uso da água de forma conservativa e racional, através do desenvolvimento e disponibilização de produtos que atinjam tal objetivo;

(c) embasar as ações do programa mediante a geração de documentos técnicos e institucionais.

De maneira a se alcançarem tais objetivos, foram estabelecidos os projetos citados a seguir:

(a) Banco de Dados sobre Tecnologias, Documentos Técnicos e Estudos de Caso;

(b) Laboratório Institucional do Programa do Uso Racional da Água em Edifícios (LIPURA);

(c) Programa de Avaliação e Adequação de Tecnologias;

(d) Caracterização da Demanda e o Impacto das Ações de Economia no Setor Residencial;

(e) documentos relacionados às leis, regulamentos e programas de garantia de qualidade; e

(f) programas de consumo reduzido de água em edificações não residenciais.

Outro programa importante é o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA). Esse é administrado pelo Executivo e estabelece ações de combate ao desperdício da água nos três níveis de atuação, ou seja, ao nível das bacias hidrográficas, ao nível dos sistemas de abastecimento público de água e, finalmente, ao nível dos sistemas prediais hidráulicos sanitários. Em nível nacional, cita-se também o Programa de Gestão do Uso da Água em Edificações (PGUAE) (SANTOS, 2001), apresentado na sequência.

Em âmbito internacional, citam-se alguns exemplos de ações tomadas por diversos países, como são os casos da África do Sul, do Japão, do México e dos Estados Unidos (BARRETO, 1998).

Na África do Sul o National Building Research Institute (NBRI) realizou pesquisas em nível de macroabrangência, cabendo aqui destaque àquela que caracterizou vários tipos de aparelhos sanitários em função de parâmetros como vazão específica, volumes de descarga, entre outros. No Japão várias concepções e técnicas são constantemente discutidas e desenvolvidas, sendo os principais aspectos avaliados a economia, o desenvolvimento de novos aparelhos economizadores de água e o esclarecimento à população sobre a necessidade de conservar água. No México o enfoque é atuar sobre o setor público de abastecimento, sobre a racionalização do uso da água e sobre a modificação dos critérios de abastecimento, distribuição, uso e consumo de

água. Nesse sentido, as ações são concatenadas a cinco objetivos:

(a) maximizar o uso das redes de abastecimento;

(b) melhorar a administração dos serviços de água e saneamento;

(c) regulamentar as prestações de serviços;

(d) induzir o usuário ao uso racional da água; e

(e) minimizar o consumo nas instalações sanitárias.

Com o intuito de se atingirem tais objetivos foram tomadas medidas como, por exemplo, a macro e micromedição, a manutenção preventiva, campanhas de conscientização, incentivos fiscais, linhas de crédito e a criação de normas oficiais para a fabricação de aparelhos sanitários de menor consumo, entre outras.

## Estrutura do programa de gestão do uso da água em edificações (PGUAE)

### Base conceitual

No Programa de Gestão do Uso da Água nas Edificações (SANTOS, 2001), há a previsão da gestão qualitativa e quantitativa da água. Para tanto, esse programa prevê ações como caracterização do consumo de água, caracterização das ações de economia de água, avaliação da aplicabilidade integrada das ações de economia de água e a confecção do plano de gestão de uso de água. Tais ações seguem comentadas a seguir.

### Base metodológica

Conforme texto original do projeto de pesquisa Programa de Gestão do Uso da Água em Edificações, constam a seguir as respectivas metas metodológicas, no entanto revisadas e sintetizadas.

#### Sistema de caracterização do consumo de água

Tal metodologia foi concebida considerando-se três ações fundamentais, a seguir apresentadas.

##### 1ª) Descrição do cenário (Edifício)

As variáveis de interesse neste método são os levantamentos do ambiente construído e do histórico de consumo de água dele, além da averiguação do comportamento do usuário da água. Para o levantamento do ambiente construído e do histórico do consumo foi desenvolvida uma planilha descritiva, em que as características e realidade de uso e operação do ambiente são registradas.

Para a averiguação do comportamento do usuário da água foi confeccionado um questionário-teste, seguindo preceitos da pesquisa qualitativa, no qual se procura basicamente observar qual a percepção do residente no uso da água e qual sua aceitabilidade na utilização de fontes alternativas de água para fins não potáveis. Esse questionário-teste foi denominado Teste AQUA, cuja sigla significa Avaliação Quantitativa do Uso da Água.

2ª) Prospecção de relações entre o consumo de água e variáveis diversas

Na análise estatística desenvolvida com o intuito de avaliar a influência sobre o consumo de água de variáveis diversas como a sazonalidade, a temperatura ambiente, os dias do mês, etc., são utilizadas a Correlação e a Análise de Regressão.

3ª) Parametrização do consumo

Neste caso é utilizado o Teste AQUA, que possibilita uma parametrização expedita do consumo da água nas edificações. Cumpre destacar a utilidade deste levantamento expedito em função dos custos elevados da parametrização baseada em hidrômetros instalados por pontos de consumo.

#### **Sistema de caracterização das ações de conservação de água**

O referido sistema prevê duas etapas:

(a) pré-seleção e definição das ações de conservação de água, especificamente aquelas relativas ao uso racional e ao aproveitamento das fontes alternativas de água, conforme comentado no item 4.2. A pré-seleção e a definição baseiam-se na Planilha Descritiva e no Teste AQUA. Na primeira faz-se uma avaliação técnica preliminar para verificar a aplicabilidade de ações de conservação, enquanto na segunda avalia-se a aceitabilidade das ações por parte do usuário. As ações a serem selecionadas nesta etapa serão aquelas consideradas aplicáveis e aceitáveis no cenário sob estudo;

(b) caracterizar cada uma das ações em questão, as quais referem-se à sua própria tipologia, além de seus aspectos quantitativos e qualitativos. Nesse sentido, os tipos de ações de conservação que são abordados são o uso racional de água e o de fontes alternativas. A caracterização das ações de uso racional inclui intervenções de combate ao desperdício mediante a detecção de vazamentos, conscientização do usuário, substituição dos aparelhos sanitários convencionais por aparelhos sanitários economizadores, entre outras.

Com relação à caracterização das ações relacionadas ao uso de fontes alternativas, a ação metodológica fundamental é a caracterização qualitativa das respectivas águas, onde são

levantados parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos. Já a caracterização quantitativa não se apresenta como um grande problema, pois ela poderá ser viabilizada pela parametrização do consumo.

Para desenvolver esses processos de caracterização das ações, foi organizada a Planilha de Caracterização, que permite organizar o conjunto de informações necessárias junto à edificação sob análise.

#### **Sistema de avaliação da aplicabilidade e hierarquização das ações de conservação de água**

O referido sistema prevê duas etapas, descritas a seguir.

1ª) Avaliação da aplicabilidade das ações de conservação de água

Considerando as ações de conservação de água já caracterizadas, faz-se necessário um sistema que avalie a aplicabilidade destas em função dos requisitos qualitativos e quantitativos impostos pelos usos previstos e em função da análise da relação entre custo, benefício e risco sobre tais ações.

Esta, portanto, é a proposta do sistema aqui denominado Sistema de Avaliação de Aplicabilidade, cuja relação entre custo e benefício é trabalhada mediante a análise de viabilidade econômica, enquanto o risco é avaliado em função do potencial de exposição do usuário, em especial no caso da utilização das águas das fontes alternativas.

2ª) Sistema de decisão para hierarquização das ações de conservação de água

Avaliadas as aplicabilidades das ações de conservação de água para aquelas efetivamente aplicáveis, faz-se necessário hierarquizá-las quanto à preferência de aplicação ao longo do tempo. Para tanto, é importante a utilização de sistemas de decisão, fundamentais para a confecção posterior do plano de gestão do uso da água nas edificações.

Isso posto, esse trabalho define a Análise Multicritério como o sistema de decisão referencial para a condução do processo de hierarquização. Tal definição fundamenta-se no fato de esse tipo de análise ser usado em estudos de otimização de sistemas relacionados à água. Não obstante, entre os diversos métodos que integram a família multicritério, optou-se pelo método Electre III, pelo mesmo motivo acima exposto.

#### **Plano de gestão de uso da água em edifícios**

Esse plano de gestão apresenta diretrizes para o gerenciamento do uso da água em edifícios, as

quais são definidas a partir da hierarquização constatada na aplicação do sistema de decisão. Nesse sentido, é possível organizar um cronograma de aplicação das ações de conservação da água ao longo do tempo, além de um programa de monitoramento das ações e de seus efeitos.

## Sistema de apoio à decisão: análise multicritério

### Conceitos e classificação

Segundo Roy (1985), um sistema de apoio à decisão se caracteriza por ser uma atividade que permite, através de modelos claramente explicitados, porém não necessariamente formalizados, auxiliar na obtenção dos elementos de resposta às questões que são apresentadas a um interventor em um processo de decisão. Tais elementos procuram esclarecer, e normalmente prescrever, a decisão, ou simplesmente favorecer um comportamento que venha a acrescentar coerência à evolução do processo, aos objetivos e sistema de valores utilizados pelo interventor.

Vincke (1992) apresenta o auxílio à decisão multicritério como sendo um conjunto de ferramentas que permitem ao tomador de decisões um avanço, na resolução de problemas de decisão que possuem vários pontos de vista, os quais devem ser levados em conta na decisão. Deve ser levado em conta que, quando o tomador de decisões se depara com esse tipo de problema, não existe, em geral, qualquer solução ótima sob todos os pontos de vista apresentados.

Um método de Análise Multicritério de sobreclassificação (*outranking relation*) faz uso da construção de relações de sobreclassificação, para em um segundo passo explorar essas relações e estabelecer uma classificação das ações, as quais auxiliarão o tomador de decisões na resolução de um problema. Roy (1985) apresentou a seguinte definição, matemática, de relações de sobreclassificação (VINCKE, 1992): “Uma relação de sobre-classificação é uma relação binária  $S$  definida em  $A$ , onde  $A$  é o conjunto de alternativas,  $a, b \in A$ , tal que  $aSb$  se, conhecidas as preferências do tomador de decisões, conhecida a qualidade das avaliações das ações e a natureza do problema, existe argumentos suficientes para decidir que  $a$  é no mínimo tão bom quanto  $b$ , desde que não exista razão substancial para contestar esta afirmação”.

### Método de Análise Multicritério Electre

Buchanan e Sheppard (1998) definem os métodos da família Electre não somente como métodos de

solução, mas como “uma filosofia de apoio à decisão”.

Maystre, Pictet e Simos (1994) relacionam as diversas áreas de aplicação dos métodos Electre, sendo elas as seguintes: área de implantação, na locação de usinas, traçados rodoviários, estações ferroviárias, entre outras; área de desenvolvimento nacional e regional, no planejamento agrícola, gerenciamento hidráulico, entre outras; área de publicidade, no planejamento de mídia; área de pesquisa e desenvolvimento, em projetos, desenvolvimento industrial; área de admissão, como empresas, instituições de ensino; e, finalmente, área de fabricação, em produtos e organização.

Quanto às problemáticas atendidas pelos métodos da família Electre, Maystre, Pictet e Simos (1994) citam as seguintes: a problemática  $\alpha$  de apoio na escolha das melhores ações, em que se encontram as aplicações dos métodos Electre I e IS; a problemática  $\beta$  que apóia a triagem das ações segundo normas preestabelecidas, através do Electre TRI, e, finalmente, a problemática  $\gamma$ , a qual tem como objetivo o ordenamento das ações segundo uma ordem de preferência decrescente, utilizando os métodos Electre II, III e IV.

Como apresentado na introdução do presente trabalho, a pesquisa visa estabelecer um plano de gestão de águas em edificações, ou seja, analisar as possibilidades existentes de ações de economia e uso da água, e hierarquizar tais ações, segundo alguns critérios. Por tal motivo, optou-se pela utilização do método de Análise Multicritério Electre III, pois o problema se enquadra no tipo de problemática  $\gamma$ , anteriormente descrito.

### Método Electre III

As várias versões da família Electre se baseiam em um mesmo conceito fundamental, mas diferem na sua operacionalização (BUCHANAN; SHEPPARD, 1998). O método Electre introduz ao modelo tradicional de preferência um valor-limite de preferência  $p$  e um valor-limite de indiferença  $q$ , a cada critério. Dessa maneira, o tomador de decisões pode estabelecer um limite no qual uma ação é estritamente preferível à outra e um limite no qual uma ação é indiferente à outra.

Por exemplo, no modelo tradicional de preferência, desejando-se escolher o café mais doce, uma xícara de café contendo 11 mg de açúcar é preferível a uma xícara de café contendo 10 mg de açúcar. Já utilizando o Electre é possível estabelecer que 1 mg de açúcar não faça diferença entre as duas xícaras, ou seja, o café das duas xícaras são indiferentes. Com a introdução desses limites, as relações de preferência ficam da

seguinte maneira (BUCHANAN; SHEPPARD, 1998):

- (a)  $aPb$  a é preferível a b, se  $g(a) > g(b) + p$ ;
- (b)  $aIb$  a é indiferente a b, se  $|g(a) - g(b)| \leq q$ .

Tais limites de indiferença e preferência são estabelecidos pelo tomador de decisão, os quais mostram o grau de sensibilidade que o tomador de decisões deseja ao comparar duas ações. A mudança de indiferença para preferência estrita não ocorre em um ponto. Existe uma faixa de valores que se denomina de zona de preferência fraca. Com isso, as relações anteriormente citadas apresentam-se da seguinte forma (BUCHANAN; SHEPPARD, 1998):

- (a)  $aPb$  a é estritamente preferível a b, se e somente se  $g(a) > g(b) + p$ ;
- (b)  $aQb$  a tem preferência fraca a b, se e somente se  $g(b) + q < g(a) \leq g(b) + p$ ;
- (c)  $aIb$  a é indiferente a b, se e somente se  $g(b) - q \leq g(a) \leq g(b) + q$ .

Através desses limites, os métodos Electre estabelecem uma relação de subordinação denotada por  $S$ , em que uma ação  $aSb$ , ou seja, a ação “a é, no mínimo, tão boa quanto b” ou “a não é pior que b”. Essa relação deverá ser analisada para cada critério  $j$ . Dessa maneira, a notação é  $aS_jb$  (a é, no mínimo, tão bom quanto b para o critério  $j$ ). Neste ponto surgem duas novas definições, no intuito de desenvolver a relação de subordinação, os conceitos de concordância e discordância (BUCHANAN; SHEPPARD, 1998).

“O critério  $j$  está em concordância com a afirmação  $aSb$ , se e somente se  $aS_jb$ . Isto é, se  $g_j(a) \geq g_j(b) - q_j$ . Desse modo, até mesmo se  $g_j(a)$  é menor que  $g_j(b)$  para uma quantidade até  $q_j$ . Isso não contradiz a afirmação  $aS_jb$  e então está em concordância com tal afirmação”.

“O critério  $j$  está em discordância com a afirmação  $aSb$ , se e somente se  $bS_ja$ . Isto é, se  $g_j(b) \geq g_j(a) + p_j$ . Isto é, se b for estritamente preferível a a pelo critério  $j$ , então torna-se clara a não-concordância com a afirmação  $aSb$ ”.

A análise anteriormente apresentada procura avaliar a afirmação  $aSb$ , ou seja, se a é, no mínimo, tão bom quanto b. Partindo-se dessa análise, torna-se necessário determinar o quão forte é a afirmação  $aSb$ . Essa determinação é realizada por meio do chamado índice de concordância “C”, para um par de ações  $a, b \in A$ . O índice de concordância C representa, em porcentagem, em função de todos os critérios analisados e para cada par de ações, o quanto se concorda com a afirmação de que uma ação é tão

boa quanto a outra, no mínimo (BUCHANAN; SHEPPARD, 1998).

Na Análise Multicriterial, realizada pelo método Electre, além do índice de concordância, definimos o índice de discordância, o qual mede o quanto se discorda da afirmação  $aSb$ . Nesse ponto surge uma das inovações do método Electre III, com a introdução de um novo limite, o chamado limite de veto  $v$ . O limite de veto  $v_j$  é aquele valor tal que a partir dele a afirmação  $aSb$  é refutada, ou seja, não existe possibilidade de a ser, no mínimo, tão bom quanto b. Nesse caso ocorre que  $g_j(b) \geq g_j(a) + v_j$ . Ao contrário da concordância, é suficiente que essa condição seja satisfeita para apenas um critério para refutar a afirmação  $aSb$  (BUCHANAN; SHEPPARD, 1998).

Agora, com os dois índices calculados, concordância e discordância, é possível determinar a matriz de credibilidade de hierarquização, a qual mede quão forte, levando-se em conta a concordância e a discordância, é a afirmação  $aSb$  (BUCHANAN; SHEPPARD, 1998).

Após a determinação da matriz de credibilidade são realizadas duas pré-classificações, sendo uma ascendente e outra descendente (VINCKE, 1992). O Fluxograma 1 apresenta a rotina para a aplicação dos métodos da família Electre.

Para a definição da classificação final, realizada após as duas pré-classificações, são apresentadas as seguintes regras de classificação (MAYSTRE; PICTET; SIMOS, 1994):

- (a) se a é preferível a b dentro das duas pré-classificações, então a será preferível a b no ranqueamento final;
- (b) se a é equivalente a b em uma das pré-classificações, mas ela é preferível na outra, então a é preferível a b;
- (c) se a é preferível a b em uma das pré-classificações, mas na outra pré-classificação b é preferível a a, então as duas ações serão incomparáveis entre si.

## Materiais e métodos

Este item apresenta uma aplicação do Programa de Gestão do Uso da Água em Edificações, conforme sua base metodológica, apresentada no item 6.2. Para tanto, é conduzido um estudo de caso em que em um edifício residencial são concebidas, avaliadas e hierarquizadas ações de conservação da água sob o enfoque da micro e macroabrangência.



## Aplicação do sistema de caracterização do consumo de água

### Descrição do cenário

A edificação avaliada está localizada na área urbana da cidade de Curitiba e é do tipo residencial. Ela possui oito pavimentos, com quatro apartamentos por pavimento, contendo em média cinco pessoas por apartamento, o que perfaz um total de 160 habitantes. As áreas verdes e áreas de calçada e garagem computam um total de 1.308 m<sup>2</sup>. A área de cobertura é de 283 m<sup>2</sup>.

### Prospecção de relações entre o consumo de água e variáveis diversas

A prospecção foi desenvolvida em função da análise do comportamento do consumo da água ao longo do último ano. Para tal análise, construiu-se uma curva anual de consumo de água, na qual ficou claro o impacto da sazonalidade sobre o consumo, pois, ao longo do ano estudado, observaram-se picos de consumo em julho e em dezembro. Sobre o pico de consumo ocorrido em julho, algumas hipóteses foram trabalhadas, como a influência das férias escolares, que implicam um tempo maior de permanência das pessoas nos apartamentos, assim como o fato de as pessoas permanecerem mais tempo utilizando o chuveiro em função das reduzidas temperaturas características desse mês. Não obstante, hipoteticamente, o pico de consumo de água ocorrido em dezembro é mais condizente com fatores como a época em si, as festas de fim de ano e o verão. Salienta-se que são hipóteses verossímeis, porém se necessita de maiores investigações para validá-las.

### Parametrização do consumo

Conforme dados da aplicação do AQUA, os usos com maior consumo de água são a bacia sanitária e o chuveiro, conforme já esperado. A economia de água no uso da bacia sanitária pode ser obtida por sua substituição por bacias de volume reduzido de descarga ou pela utilização de fontes alternativas de água para a descarga, como a água cinza e a água da chuva. Já para a economia de água do chuveiro, entende-se ser mais viável uma revisão da postura do usuário no intuito de reduzir, ou até eliminar, o desperdício de água.

## Aplicação do sistema de caracterização das ações de conservação de água

Conforme anteriormente apresentado, a aplicação desse sistema de caracterização foi dividido em duas etapas, apresentadas a seguir.

### Pré-seleção e definição das ações de conservação de água

Várias ações foram inicialmente avaliadas, quais sejam:

- (a) adoção de redutor de pressão em cada pavimento;
- (b) utilização de água subterrânea;
- (c) utilização de água cinza em torneiras de jardim;
- (d) substituição de bacias sanitárias convencionais de 12 L por bacias sanitárias de volume reduzido de 6 L;
- (e) utilização de água cinza em bacias sanitárias;
- (f) utilização de água de chuva em irrigação de área verde, limpeza de calçadas e garagem;
- (g) detecção e correção de vazamentos; e
- (h) medição individualizada.

As três primeiras ações foram descartadas por motivos técnicos e de aceitabilidade:

- (a) a utilização de redutor de pressão em cada pavimento poderia ocasionar excessiva manutenção;
- (b) a profundidade do lençol subterrâneo inviabiliza tecnicamente a implantação do sistema de recalque;
- (c) a utilização de água cinza em torneiras de jardim foi recusada pelos moradores, conforme o teste AQUA, devido ao grande risco avaliado por eles.

Dessa maneira, foram definidas as ações a seguir.

### Medida 1: Substituição de bacias sanitárias

Nesse caso é prevista a substituição de bacias sanitárias convencionais de 12 L por bacias sanitárias de volume reduzido de 6 L.

### Medida 2: Utilização de água cinza tratada em bacias sanitárias

Neste trabalho admitem-se como características da água cinza aquelas apresentadas na Tabela 1. O nível de tratamento previsto é primário e secundário para remoção de matéria orgânica e terciária para remoção de patógenos.

### Medida 3: Utilização de água de chuva em irrigação de área verde, limpeza de calçadas e garagem

Neste trabalho admitem-se como características da água da chuva aquelas apresentadas na Tabela 2. O nível de tratamento previsto é preliminar para exclusão da “primeira água”; primário para remoção de sólidos sedimentáveis; secundário para

remoção de suspensos; e terciário para remoção de patógenos.

#### **Medida 4:** Detecção e correção de vazamentos

Admitem-se como ações de detecção de vazamentos aquelas referentes à detecção de vazamentos visíveis e não visíveis, sendo estas últimas determinadas, por exemplo, por indícios como o aumento do consumo de água injustificado, surgimento de manchas de umidade nas paredes, lajes e pisos, acionamento contínuo do sistema de recalque e crescimento de vegetação em juntas de pavimentação (GONÇALVES; IOSHIMOTO; OLIVEIRA, 1999). Quanto às ações, devem ser tomadas medidas corretivas, como substituição de aparelhos de utilização e tubulações danificadas e substituição de válvulas das bóias de reservatórios, entre outras.

#### **Medida 5:** Medição individualizada

A ação de medição individualizada é tomada pela instalação de medidores de vazão (hidrômetros) individuais, para cada economia. A medida de se adotar medição individualizada por economia gera uma responsabilidade maior dos moradores por aquilo que consomem. Com isso elimina-se a cobrança por “rateio”, cuja medição é realizada por um único medidor de vazão e a cobrança é dividida entre os moradores. Essa ação é reforçada pelo fato de que a tarifação é um agente de grande eficiência, pois com a ocorrência de tarifas elevadas o desperdício é coibido (SANTOS, 2002).

#### **Caracterização das ações pré-selecionadas**

A caracterização das ações pré-selecionadas compreende caracterizar os aspectos qualitativos e quantitativos de cada ação pré-selecionada.

Quanto ao aspecto qualitativo, optou-se pela análise de risco de contaminação microbiológica baseada no Modelo de Poisson, em que o indicador é a bactéria *Escherichia coli*. Assume-se também nessa análise que todos os coliformes fecais detectados são *Escherichia coli* e que todos eles são potencialmente patogênicos (WATERCASA, 2004).

Analisando-se as medidas pré-selecionadas, fica claro que apenas as medidas de utilização da água cinza (medida 2) e da água da chuva (medida 3) devem ser analisadas quanto ao risco, pois as outras não tratam da utilização de fontes alternativas à potável. O parâmetro referencial de limite de risco adotado foi da EPA (Environmental Protection Agency – USA) para a água potável, o qual estabelece que nenhum indivíduo possa sofrer uma exposição a um risco de infecção maior que 1 em 10.000 no ano, ou seja  $1 \times 10^{-4}$  (WATERCASA, 2004). Deve-se observar que a

adoção desse limite de risco justifica-se no fato de que, apesar das águas a serem utilizadas nas medidas 2 e 3 sejam para fins não potáveis, admite-se a possibilidade de algum imprevisto de ingestão delas por parte, por exemplo, de crianças. A Figura 1 ilustra a análise de risco em questão para as medidas 2 e 3, considerando as duas medidas sem tratamento e com tratamento físico, químico e microbiológico para atenderem a suas respectivas finalidades.

Quanto ao aspecto quantitativo, a Tabela 3 apresenta a redução do consumo *per capita* observado supondo-se a adoção de cada medida de conservação de água por parte da população de Curitiba e Região Metropolitana de Curitiba (RMC) de 2004. A determinação de cada *per capita* foi realizada subtraindo-se os valores de economia, gerados pela adoção da medida, do *per capita* de consumo de 200 L/hab.dia, fornecido pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Por exemplo, para a substituição de bacia sanitária convencional por bacia sanitária de volume reduzido de 6 L, temos uma redução de 18 L/hab.dia, considerando-se uma média de uso de três vezes ao dia, segundo estimativa do teste AQUA.

Para ressaltar o aspecto quantitativo é importante observar também a Tabela 4, em que são apresentados valores de economia de água no sistema de abastecimento público de abastecimento de água de Curitiba e RMC.

As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, para toda a população assim como apenas para o incremento de população futura (a partir de 2004), o impacto gerado no respectivo sistema de abastecimento admitindo-se a adoção de todas as medidas. Foi utilizada uma taxa de crescimento populacional de 3% ao ano, segundo dados do IBGE (2004). Primeiramente, foi determinado o consumo, sem a adoção das medidas, para toda a população projetada, e desta foram subtraídos os consumos encontrados com a adoção de cada medida de conservação e com a adoção de todas as medidas. Para a determinação da economia só para o incremento da população, foi realizado o mesmo procedimento.

Também foi realizada uma análise para a determinação do alcance do atual sistema de abastecimento de água (SAA) de Curitiba e RMC supondo-se a adoção imediata das medidas de conservação de água para o incremento da população. Tal sistema de abastecimento possui atualmente capacidade de produção de água potável na ordem de 9.300 L/s, dado este atualizado a partir de Santos, Saunitti e Busato (2001) (ver Tabela 5).

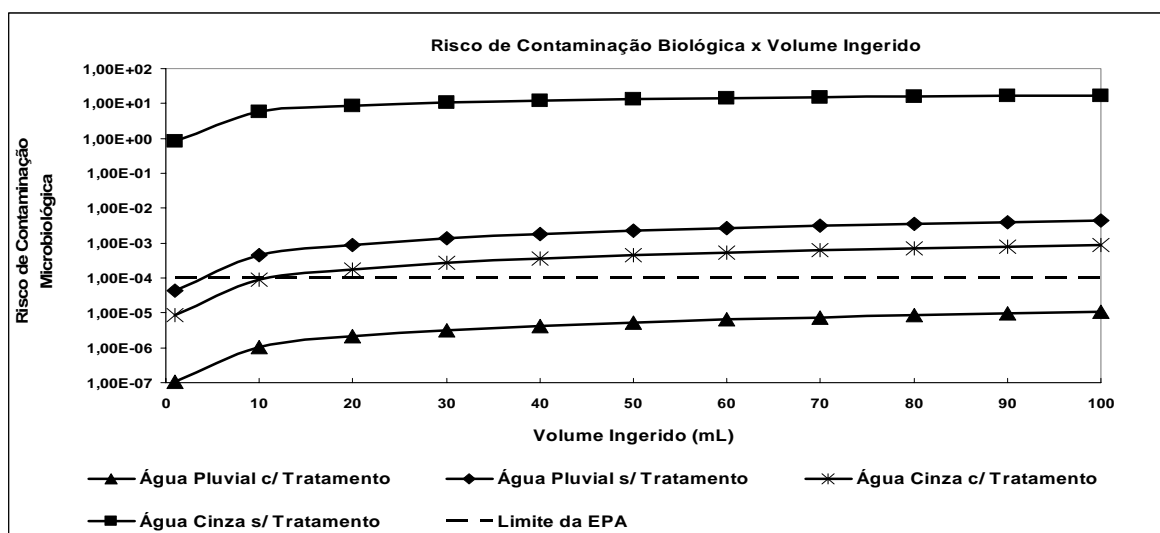


Figura 1 - Análise risco das medidas 2 e 3

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
<i>per capita</i> (L/hab.dia)	182,00	164,00	198,65	177,10	155,00

Tabela 3 - Consumo *per capita* de Curitiba e RMC com a adoção das medidas de conservação

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
Economia (L/s)	620	1.240	47	789	1.550

Tabela 4 - Economia de água no SAA de Curitiba e RMC com a adoção das medidas de conservação

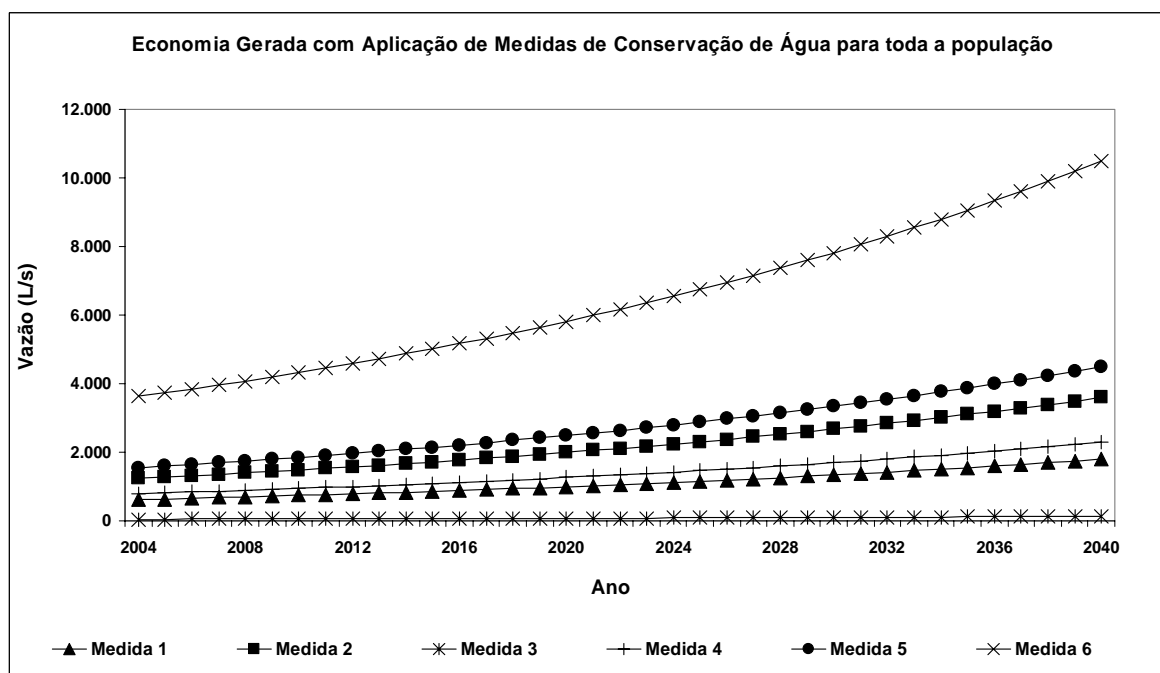


Figura 2 - Economia gerada no sistema de abastecimento da RMC para população futura total

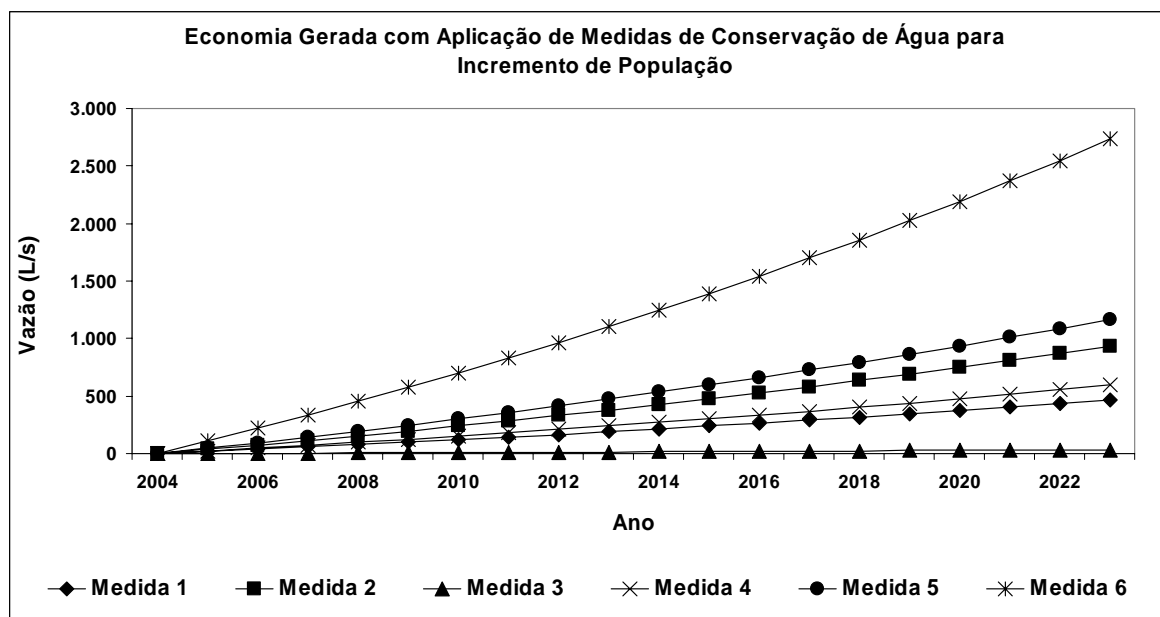


Figura 3 - Economia gerada no sistema de abastecimento da RMC para incremento da população futura

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
Ano	2017	2020	2014	2018	2022

Tabela 5 - Estimativa do alcance do SAA de Curitiba e RMC com a adoção das medidas de conservação

## Aplicação do sistema de avaliação da aplicabilidade e hierarquização das ações de conservação de água

### Avaliação da aplicabilidade das ações de conservação de água

A aplicabilidade nesse estudo foi avaliada à luz de critérios como a redução do índice *per capita* de água, da economia de água nos mananciais e do alcance do sistema de abastecimento de água. Para cada medida avaliada observaram-se significativa redução do consumo *per capita* de água e economia de água no manancial, assim como expressivos alcances do sistema de abastecimento de água a partir de 2004. Portanto, tais medidas são consideradas aplicáveis ao cenário sob estudo.

### Sistema de decisão para hierarquização das ações de conservação de água

Nesta etapa aplicou-se o método predeterminado no item 7.2, ou seja, o método multicriterial Electre III. Sua aplicação é apresentada nas etapas seguintes.

**Etapla 1 - Definição dos critérios:** a apresentação e a descrição dos critérios de hierarquização são apresentadas na sequência.

(a) Redução do *per capita* de água (RPC): conforme aplicação do teste AQUA, a caracterização do consumo da edificação foi realizada por meio de medições de consumo e observação dos hábitos da população em questão. Determinou-se um valor de 196,5 L/hab.dia para a edificação, valor este bem próximo aos 200 L/hab.dia fornecido pela Sanepar. Portanto, para essa avaliação adotou-se o valor fornecido pela Sanepar, pois reflete o consumo médio medido da população da RMC. Não obstante, o percentual de redução obtido para cada medida foi a partir da referência de 200 L/hab.dia e os valores reduzidos de consumo de água *per capita* apresentados na Tabela 3. Tais percentuais de redução constam na Tabela 6.

(b) Risco microbiológico (RM): conforme comentado no item 8.2.2, o padrão de risco de contaminação adotado será o padrão estabelecido pela Environmental Protection Agency (EPA), para a água potável, o qual estabelece que nenhuma pessoa pode ser exposta a um risco de infecção maior que 1 em 10.000 no ano, ou seja  $1 \times 10^{-4}$ . Também já foi comentado que o risco microbiológico será avaliado apenas para as medidas 2 e 3, dada a natureza delas.

(c) Economia de água no sistema de abastecimento público de Curitiba e RMC (Economia): esse critério baseia-se na

quantificação apresentada na Tabela 4, em que se procurou avaliar qual seria o volume de água economizado no sistema de abastecimento em questão pela adoção de cada medida para toda a população de 2004, ou seja, qual o volume de água que deixaria de ser captado no manancial para abastecimento (observar Tabela 6).

(d) Alcance de abastecimento de água da RMC com a adoção da medida (Alcance): para este critério consideraram-se as estimativas apresentadas na Tabela 5, em que se realizou uma projeção da população com a taxa de crescimento de 3,0% ao ano (IBGE, 2004) e verificou-se qual seria o alcance de atendimento dos atuais mananciais abastecedores a partir de 2004, isto é, se somente o incremento da população adotasse as medidas de conservação propostas. Essas estimativas encontram-se reproduzidas na Tabela 6.

Ao tabular os valores encontrados para as medidas adotadas, observa-se que a medida 5 (medição individualizada) supera as outras medidas em todos os critérios. Tal conclusão faz com que a ação não entre na análise multicriterial proposta, pois exerce o domínio sobre as outras, sob todos os critérios, restando apenas a aplicação da análise multicriterial sobre as quatro medidas restantes.

**Etapla 2 - Definição dos pesos dos critérios:** a definição dos pesos dos critérios foi realizada por meio do método “Jogo de Cartas”, de Simons, conforme Figueira e Roy (2001), e foi aplicado pelos autores e por dois pesquisadores convidados da área de saneamento ambiental. A Tabela 7 apresenta os pesos definidos para cada critério.

**Etapla 3 - Definição dos limites de indiferença (q), preferência (p) e veto (v):** a Tabela 8 apresenta os valores definidos, pelos autores, dos limites q, p e v, para cada critério de avaliação. A definição desses limites é de caráter subjetivo, ficando a cargo do decisor a determinação deles. Rogers e Bruen (1998), citando o trabalho de Roy (1986), apresentam que, geralmente, p e v são múltiplos de q, portanto, para o presente trabalho, foi adotado esse critério na determinação dos limites, observando-se sempre a relação  $q < p < v$ .

## Resultados e discussão

Aplicando-se o método Electre III, através da rotina apresentada pelo fluxograma da Figura 7 e pelas regras de classificação final do método, têm-se as Figuras 4, 5 e 6, com a pré-classificação descendente, a pré-classificação ascendente e a classificação final, respectivamente.

As Figuras 4 e 5 apresentam a classificação das medidas propostas em ordem decrescente de preferência. Assim, o resultado final da hierarquização das cinco medidas propostas é o seguinte:

- medição individualizada (medida 5);
- utilização de águas cinzas tratadas em bacias sanitárias (medida 2);
- deteção e correção de vazamentos (medida 4);
- substituição de bacias sanitárias convencionais (medida 1); e
- utilização de água de chuva na irrigação de área verde, limpeza de calçadas e garagem (medida 3).

Como abordado anteriormente, observa-se que a medida de medição individualizada (medida 5) domina todas as demais, em todos os critérios, ou seja, ela é a melhor alternativa. Por tal motivo, essa medida não faz parte da Análise Multicritério, restando apenas a avaliação multicriterial das demais alternativas.

Não obstante, o fato de a utilização da água cinza tratada (medida 2) apresentar-se como a segunda melhor alternativa causa certa surpresa, uma vez que é uma medida que apresenta o maior risco sanitário entre as medidas, conforme a Tabela 6. No entanto, ao comparar essa medida 2 com as medidas 1, 3 e 4, observa-se que a primeira apresenta maior redução do consumo *per capita* de água, maior economia de água no sistema de abastecimento e maior alcance dele. São superações significativas que elegem a medida 2 a tal posto, mesmo havendo o maior risco biológico e mesmo sendo o risco o critério que apresenta o maior peso, conforme a Tabela 7.

	Objetivo	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
RPC (%)	Maximizar	9,00	18,00	0,68	11,45	22,50
RM (ano <sup>-1</sup> )	Minimizar	0	$8,84 \times 10^{-5}$	$1,06 \times 10^{-6}$	0	0
Economia (L/s)	Maximizar	620	1.240	47	789	1.550
Alcance (ano)	Maximizar	2017	2020	2014	2018	2022

Tabela 6 - Valores das ações de conservação para cada critério

	<b>RPC</b>	<b>RM</b>	<b>Economia</b>	<b>Alcance</b>
Peso	23	48	23	6

Tabela 7 - Pesos definidos para cada critério de avaliação

	<b>RPC (%)</b>	<b>RM</b>	<b>Economia (L/s)</b>	<b>Alcance</b>
q	10	$1 \times 10^{-1}$	295	1
p	20	$1 \times 10^{-4}$	590	5
v	30	$2 \times 10^{-4}$	885	10

Tabela 8 - Limites q, p e v para cada critério de avaliação

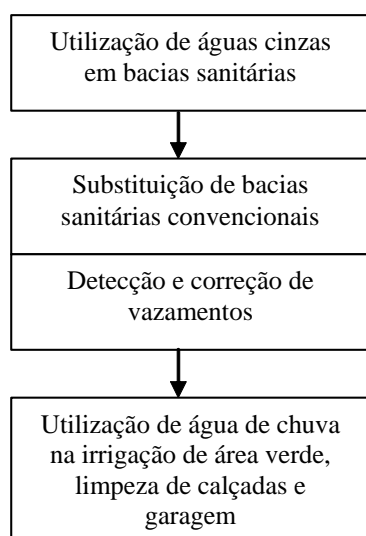


Figura 4 - Pré-classificação da destilação descendente ascendente

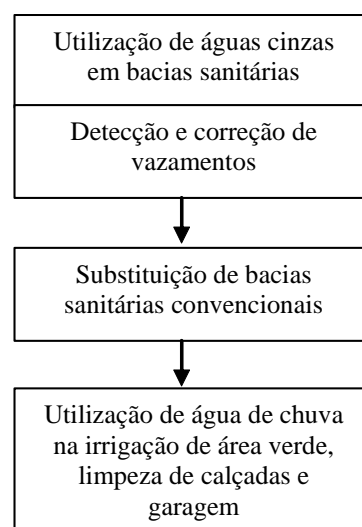


Figura 5 - Pré-classificação da destilação ascendente

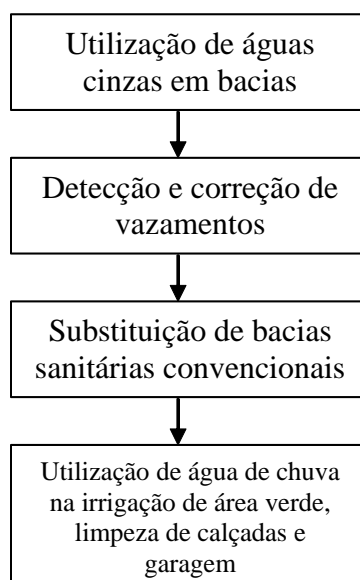
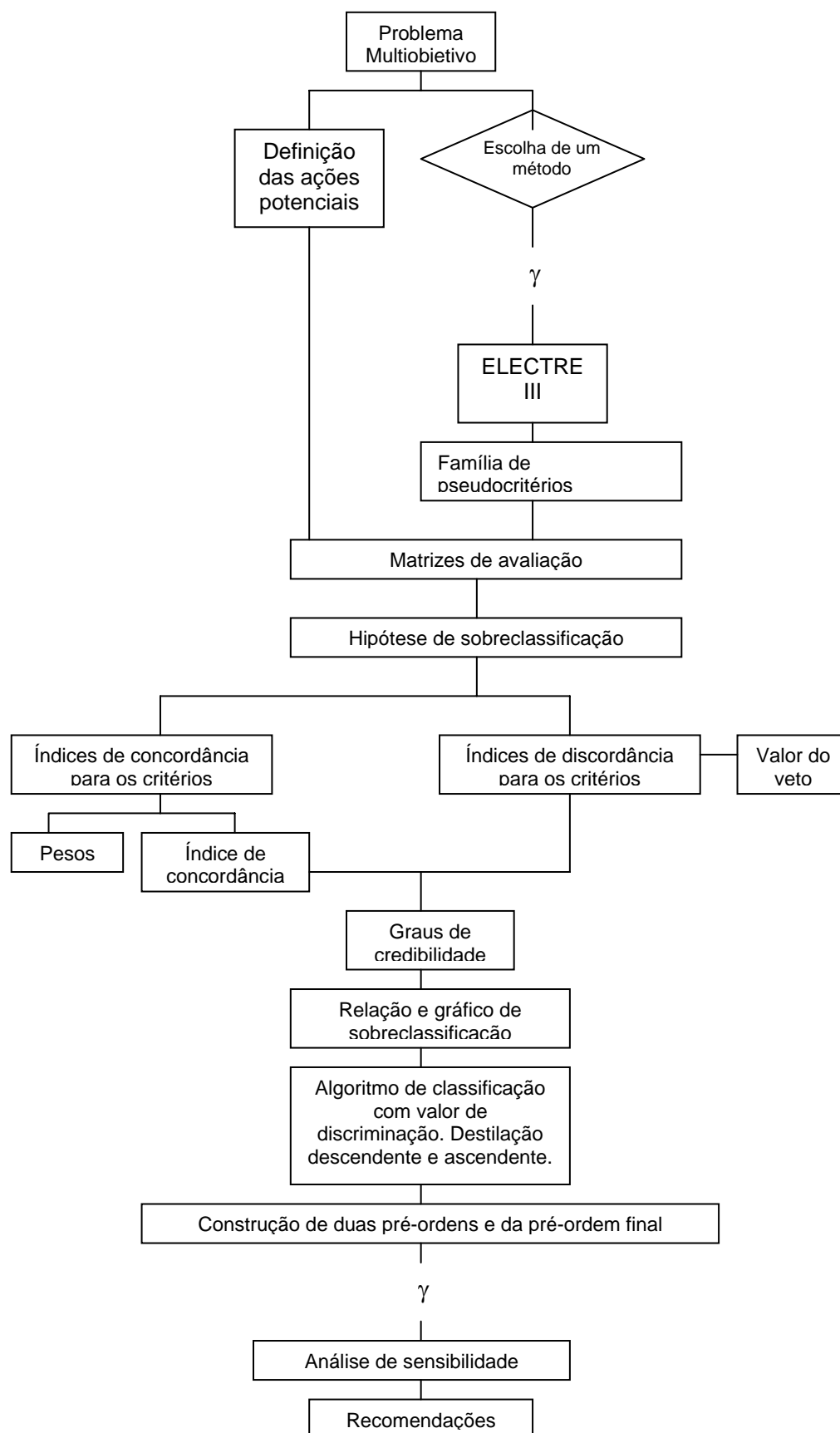


Figura 6 - Classificação final



Fonte: Traduzido de Maystre, Pictet e Simos (1994)

Figura 7 - Rotina para aplicação do método Electre III

A terceira posição da medida 4 (detecção e correção de vazamentos) também transparece na observação da Tabela 6. Tal medida supera as medidas 1 e 3 em todos os critérios, com exceção do risco microbiológico quando comparado com a medida 1, em que ambos são nulos. É importante também destacar uma comparação entre a detecção e correção de vazamentos (medida 4) e a utilização de bacias sanitárias de volume reduzido (medida 1). As duas pré-classificações das destilações ascendente e descendente, Figuras 4 e 5, respectivamente, demonstram que na ascendente a detecção e correção de vazamentos é melhor que a utilização de bacias sanitárias de volume reduzido, enquanto na descendente as duas medidas se igualam. Com isso, segundo as regras de classificação apresentadas, a detecção e correção de vazamentos supera a substituição de bacias sanitárias convencionais por bacias sanitárias de volume reduzido, finalizando a análise multicriterial das alternativas previamente solucionadas.

No entanto, a classificação da medida 4 deve ser abordada com atenção. Em realidade, de maneira a atender o princípio “primeiro combater o desperdício de água para depois adotar as demais medidas de economia”, o interessante é que a detecção e correção de vazamento seja considerada uma ação imperativa, ou seja, não deve sequer participar do processo de hierarquização. Caso tal princípio fosse considerado nesse exemplo, a primeira ação recomendada seria a medida 4. Após, inicia-se o processo de hierarquização.

Já as medidas 1 e 3 constam na quarta e quinta posições, respectivamente, cabendo destacar o fato de que a utilização da água da chuva, apesar de apresentar um risco microbiológico menor que o da água cinza, propicia um volume economizado de água muito reduzido. No entanto, isso não é necessariamente função da natureza da medida, mas sim de onde ela está sendo aplicada. Ou seja, no exemplo apresentado, os usos previstos para a água da chuva foram irrigação de áreas verdes, limpeza de calçadas e garagem, os quais apresentam demandas comparativamente menores por água. Caso o sistema de água da chuva fosse concebido para atender a demandas maiores, tal ação seria mais competitiva e poderia alcançar postos superiores na hierarquização.

## Conclusão

Deve ser observado que a aplicação da Análise Multicritério para hierarquização de medidas de conservação de água na edificação e no entorno requer cautela e precisão por parte do agente que toma decisões. O estabelecimento de pesos não

adequados aos critérios, a utilização de critérios redundantes ou, ainda, a utilização de um conjunto de critérios que não reflita a complexidade do problema podem distorcer os resultados obtidos. Por exemplo, neste trabalho foi analisado apenas o benefício da economia do insumo água potável, o impacto gerado no sistema de abastecimento em termos de economia desse insumo e os riscos microbiológicos proporcionados pelas medidas à saúde humana. Porém, é necessário o acréscimo do critério custo, que deverá influenciar de maneira significativa na classificação encontrada. A definição do critério custo, por parte dos autores, está em curso e será apresentada em publicações futuras.

## Referências

- BARRETO, D. **Economia de água em edifícios:** uma questão do programa de necessidades. 1998. 324 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BUCHANAN, J.; SHEPPARD, P. **Project Ranking Using Electre III, apresentado na 33rd Annual Conference ORSNZ.** Disponível em: <[www.esc.auckland.ac.nz/Organisations/ORSNZ/conf33/papers/p58.pdf](http://www.esc.auckland.ac.nz/Organisations/ORSNZ/conf33/papers/p58.pdf)>. Acesso em: 6 mar. 2004.
- FIGUEIRA, J.; ROY, B. Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. **European Journal of Operational Research**, v. 139, n. 2, p. 317-326, 2002.
- FRIEDLER, E. Water reuse: an integral part of water resources management: Israel as a case study. **Water Policy**, Israel, v. 3, p. 29-39, 2001.
- GOMES, L. F. A. M.; MOREIRA, A. M. M. Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritérios. **RECITEC – Revista de Ciência e Tecnologia**, Recife, v. 2, n. 2, p. 117-139, 1998.
- GONÇALVES, O. M.; IOSHIMOTO, E.; OLIVEIRA, L. H. de. DTA F1 – Tecnologias poupadoras de água nos sistemas prediais. In: **PNCDA – Plano Nacional de Combate ao Desperdício da Água**. Brasília, 1999.
- IBGE. **Taxas Anuais.zip**. Populações residentes, em 01.07.2000 e 01.07.2004, e taxas médias geométricas anuais de crescimento. Disponível em: <[http://www2.ibge.gov.br/pub/Estimativas\\_Projecoes\\_Populacao/Estimativas\\_2004/](http://www2.ibge.gov.br/pub/Estimativas_Projecoes_Populacao/Estimativas_2004/)>. Acesso em: 1 dez. 2004.



IPARDES. **Agenda 21**: Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento. Curitiba: IPARDES, 2001.

MACÊDO, J. A. B. **Águas e águas**. São Paulo: Varela, 2001.

MAYSTRE, L. Y.; PICTET, J.; SIMOS, J. **Méthodes multicritères ELECTRE**. 1. ed. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1994.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. 3<sup>rd</sup> ed. Singapore: McGraw-Hill International Editions, 1991.

ROGERS, M.; BRUEN, M. Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE. **European Journal of Operational Research**, v. 107, n. 3, p. 542-551, 1998.

ROY, B. **Methodologie multicritère d'aide à la décision**. Paris: Economica, 1985.

SANTOS, D. C. dos. **Programa de gestão do uso das águas nas edificações**. Curitiba: UFPR, 2001. Projeto de Pesquisa encaminhado ao CNPq.

SANTOS, D. C. dos. Os Sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 07-18, 2002.

SANTOS, D. C. dos. **Relatório do Programa de Gestão do Uso da Água em Edificações**. UFPR/CNPq. Curitiba: [s.n.], 2004.

SANTOS, D. C. dos; SAUNITTI, R. M.; BUSATO, R. O recurso água: promovendo a sustentabilidade do manancial através do uso de bacias sanitárias economizadoras de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: [s.n.], 2001.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. Tradução de J. Wiley & Sons. 1. ed. Baffins Lane, England: John Wiley & Sons, 1992. Tradução de L'Aide multicritère à la Décision.

ZABROCKI, L. B. **Caracterização das águas cinzas em edifícios residenciais**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

WATERCASA. **Water quality/soil quality risk assessment**. Disponível em: <<http://www.watercasa.org/research/residential/assessment.htm>>. Acesso em: 1 nov. 2004.

## Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPq e às graduandas Leila Seleme Mariano e Lorena Freitas, do curso de Engenharia Civil da UFPR.